

ARCS 動機づけ方略と統計的検定に基づく プログラミング教材の改善とその評価[†]

Improvement and Evaluation of Teaching Materials for Programming Education based on ARCS Strategies and Statistical Testing

塚本 英邦* 南雲 秀雄** 門田 暁人*** 松本 健一***
Hidekuni TSUKAMOTO Hideo NAGUMO Akito MONDEN Ken-ichi MATSUMOTO

本研究では、プログラミング教育における教材の改善手法を提案し、その効果を評価する。本手法は、学習者のモチベーションを定量的に測定し、ARCS 動機づけ方略と統計的検定に基づいてプログラミング教材の改善を行う。具体的には、学習者のモチベーションを、ARCS アンケートによって測定し、統計的に有意な減少が生じる授業毎の下位カテゴリーを特定する。その下位カテゴリーに対応するモチベーションを向上させる方略を、ARCS 動機づけモデルの“動機づけ方略”における方略見本から選択する。方略見本に基づいて教材の改善要素を設定し、プログラミング教材の改善を行う。ケーススタディとして、本手法によって 5 つの改善要素を設定して教材改善を行ってプログラミング教育を試行し、特徴的な 3 つの改善要素における教材改善の効果を検討する。

キーワード：プログラミング教育、教材改善、モチベーション、ARCS アンケート、動機づけ方略

1. はじめに

平成 20 年 2 月に文部科学省から公布された中学校学習指導要領技術・家庭¹⁾の技術分野において、学習内容が「A 技術とものづくり」、「B 情報とコンピュータ」の 2 内容から、「A 材料と加工に関する技術」、「B エネルギー変換に関する技術」、「C 生物育成に関する技術」、「D 情報に関する技術」の 4 内容に変更されている。「D 情報に関する技術」においては、選択履修となっていた“プログラムと計測・制御”が、“プログラムによる計測・制御”として履修が必須となり、全ての中学校でプログラムと計測・制御の総合的な学習を履修させることが必要となっている。

このような状況において、プログラムによる計測・制御に関する教材の研究開発が行われている。例えば、菊地らの計測・制御学習のための GUI プログラミング環境の構築²⁾、伊藤らによるプログラムと計測・制御のた

めのロボット学習教材の開発³⁾、大塚らの JAVA 言語による設計支援システムの開発⁴⁾、川田らの二足歩行を題材としたロボット制御学習⁵⁾、樋口らのコンピュータによる計測・制御学習のための基板開発⁶⁾、針谷らのプログラムによる計測・制御学習の学習効果⁷⁾、紅林らの制御プログラム学習における学習効果⁸⁾、などがある。これらの研究は、多様な領域の教育機関におけるプログラミング教育にも適用できて有用であると考えられる。

一方、学習者の立場に着目すると、学習者のモチベーションを維持できるような教材を開発することが、教育効果を上げるうえで重要となる。e-Learning の形態や規模が進化した MOOC (Massive Open Online Courses) のような e-Learning においても、学習者のモチベーションの維持・向上が重要になると言われている⁹⁾。従来研究として、ARCS 動機づけモデル^{10), 11)}を基調にした土肥らの SIEM アセスメント尺度による要因分析¹²⁾、王らのプログラミング教育における動機づけのための教授方法¹³⁾などがある。ただし、これらの研究では、教材の改善や評価には焦点が当てられていない。現状のプログラミング教材の改善は、教授者の知見や経験によって行われる傾向にあり、教授者の差異が教材改善に影響を及ぼしていると考えられる。また、学習者のモチベーションの維持という観点からの改善が必ずしも行われていない。そこで、本研究では、学習者のモチベーションの定量的な計測に基づく、プログラミング教

(2013 年*月**日受付, 2013 年*月**日受理)

* 大阪芸術大学 芸術学部

** 新潟青陵大学 看護福祉心理学部

*** 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

† 2013 年 3 月, 日本産業技術教育学会 第 28 回情報分科会 (新潟) にて発表

材の改善手法を提案し、その効果を評価する。

著者らはこれまでに、教育機関においてプログラミング教育を試行し、ARCS 動機づけモデル^{10), 11)}を背景理論にした ARCS アンケート^{14), 15)}によってモチベーションの遷移を測定している。ARCS 動機づけモデルでは、4 つのモチベーションの因子（以下、因子と呼ぶ）と、因子ごとに 3 つの下位カテゴリーが設定されている。

先行研究¹⁶⁾では、プログラミング教育プロセスの開始時・中間時・終了時において、ARCS アンケートによってモチベーションを測定して遷移を解析している。その結果、学習者の専門領域が及ぼすモチベーションの差異が小さい、関連性(Relevance)因子および自信(Confidence)因子が他の因子と比較して低い、などの知見が得られている。また、プログラミング教育プロセスの進行によってモチベーションに有意な遷移が生じることが認められている。これらの結果より、モチベーションは一連の授業を通して変化しており、授業毎の詳細なモチベーションの測定が望ましいことが分かっている。

著者らは、ある授業におけるモチベーションの低下は、その授業で使用された教材によって引き起こされるものと考えている。そして、モチベーションが低下した授業の教材を改善することで、一連の授業において学習者のモチベーションを維持できると考える。以上の考えに基づいて、本論文では、芸術系教育機関のプログラミング教育におけるモチベーションの時系列遷移を、授業毎の ARCS アンケートによって下位カテゴリーごとに測定し、有意な減少が生じる授業の下位カテゴリーを特定する。特定した下位カテゴリーに対応するモチベーションを向上させる方略を、プログラミング教育の知見を参照して、ARCS 動機づけモデルの“動機づけ方略¹¹⁾”における方略見本から選択する。そして、方略見本に基づいて教材の改善要素を設定して教材改善を行う。本手法によって 5 つの改善要素を設定して教材改善を行い、その教材を用いたプログラミング教育の試行によって、3 つの改善要素で教材改善の効果を検討する。

2. プログラミング教育の環境

本プログラミング教育のプログラミング環境は、C. Reas らによって開発された Processing¹⁷⁾を用いる。2012 年度前期と後期の 2 つの学習者グループにおいて、Processing で数式表現図形を描画するプログラミング教育を試行する。前者を改善前グループ、後者を改善後グループと呼ぶ。改善後グループのプログラミング教育では、改善前グループにおけるモチベーションの解析に

よって改善した教材を使用する。本プログラミング教育では、1 名の教授者が 2 つのグループを担当する。学習者は同一学科の 2 年生で、それぞれのグループごとに学習者が異なる。改善前グループでは学習者 60 名で 2 授業時間/週（1 授業時間：90 分）を 9 回、改善後グループでは学習者 28 名で 2 授業時間/週を 7 回行う。本研究では、プログラミング教育全般におけるモチベーションの時系列な遷移を分析することから、本プログラミング教育の全ての授業に出席した学習者の ARCS アンケートを用いたため、有効な ARCS アンケートの総数は前者が 10 人、後者が 7 人である。

本プログラミング教育における教材は 12 章で構成され、解説・例題・練習問題・プログラム課題が設定されている。学習者は、教材全体の pdf ファイルを学習者自身の演習用 PC で閲覧できる。教授者は授業における教育項目の説明を行い、学習者はプログラミング教材の例題をプログラミング処理し、教育項目で取り上げた練習問題をプログラミングして提出する。

改善前/改善後グループにおけるプログラミング教育の授業と教育項目を表 1 に示す。1 回目の授業では教育項目の説明後、point, line, rect, ellipse, triangle などの基本関数を用いて 10-15 LOC (Line of Code) のプログラムを作成し、四角形、三角形、円などの基礎的な数式表現図形を出力する。2 回目の授業では、繰り返しのアルゴリズムを説明し、for 文によって四角形、円を rect, ellipse などの 1 つのコマンドで複数の数式表現図形を出力し、次の授業へと展開する。

1-5 回目の授業は、改善前/改善後グループが同じ授業回数で実施する。改善前グループの 6 回目の授業では、9 章の画像処理、10 章 3 節の“textFont”によるフォント処理を教授し、7 回目の授業で 10 章 4 節の“translate”によるフォント処理を行っている。そこで改善後グループでは、6 回目の授業でフォント処理の 10 章 3 節、4 節を 1 回の授業で実施することができるので、改善前グループの 6-7 回目の授業内容を改善後グループの 6 回目の授業で実施する。また改善前グループの 8 回目の授業では、11 章のアニメーション処理、12 章の繰り返しやアニメーション処理を例題とした配列を教授し、9 回目の授業で課題制作だけを行う。そこで改善後グループでは、11 章のアニメーション処理、12 章の配列に加えて課題制作が 1 回の授業で実施できるので、改善前グループの 8-9 回目の授業内容を改善後グループの 7 回目の授業で実施する。このような授業の対処によって、改善前グループでは授業回数が 9 回、改善後グループは 7 回になる。

表 1 プログラミング教育の授業と教育項目

授業回		教育項目	プログラムコマンド	処理およびアルゴリズム
改善後 グループ	改善前 グループ			
1回目	1回目	1. Processingとは 2. 図形を描く 3. 変数と計算	Processing概要・基本操作, size, background, point, line, ellipse, rect, triangle, println, stroke, fill, smooth, strokeWeight, int, float, width, height, void setup,	スケッチ, 座標, コメント, 変数, コンソール
2回目	2回目	4. 繰り返し	for	for文, ネスティング
3回目	3回目	5. 色	colorMode, RGB, HSB	RGB処理, HSB処理
4回目	4回目	6. 入力	void draw, frameRate, mouseX, mouseY, save, mouseClicked	マウス入力, イベント処理
5回目	5回目	7. 条件分岐 8. ランダム 課題作成(1)	if, random, mousePressed, rectMode, ellipseMode	If文, 論理演算
6回目	6回目	9. 画像 10.3 フォント	Pimage, Image, image, filter text, textSize, textAlign, Pfont, textFont,	ランダム関数, フィルター
	7回目	10.4 フォント 課題作成(2)	rotate, translate	フォント表示処理, 座標変換
7回目	8回目	11. 動き 12. 配列	frameRate, 配列の宣言	動きのアルゴリズムとバリエーション, 配列の利用
	9回目	課題作成(3)		2Dアニメーション

3. ARCS アンケートの概要

本章では、プログラミング教育におけるモチベーションを測定するアンケートの基本概念を述べる（以下、ARCS アンケートと呼ぶ）。ARCS アンケートは、J. M. Keller らの ARCS 動機づけモデルを背景理論にしている。ARCS 動機づけモデルでは、注意 (Attention)、関連性(Relevance)、自信(Confidence)、満足感 (Satisfaction)の 4 つの因子が提唱され、それぞれの因子には 3 つの下位カテゴリーが設定されている。これら下位カテゴリーには、それぞれの動機づけ要素を刺激・維持するための効果的な方法が、“動機づけ方略”として提唱されている。

ARCS 動機づけモデルの 4 因子および、それに属する下位カテゴリーを表 2 に示す。ARCS アンケートは、表 2 の 12 の下位カテゴリーに対応させて作成した。本アンケート項目の信頼性は、Cronbach の α 係数を用いて^{18), 19)} 先行研究において検証している。アンケートの質問項目は、ARCS 動機づけモデルにおける 12 の下位

カテゴリーに対し、“動機づけ方略”の解説用語を基にそれが充足されているかを尋ねている。実際のアンケートでは質問項目の提示順序が偏らないような構成にした。アンケートにおける回答は、次の 5 段階のリッカートスケールを使用し、モチベーションの高さを示すスコアを回答番号に対応させている。

1：まったくそう思わない 2：あまりそう思わない
3：どちらともいえない 4：ややそう思う
5：強くそう思う

4. プログラミング教材の改善手法の概要

本章では、J. M. Keller の ARCS 動機づけモデルにおける“動機づけ方略”と統計的検定に基づくプログラミング教材の改善手法の基本概念を、教材改善プロセス $P1-P4$ に示す。本プログラミング教育の教材および教育項目は、学習者のモチベーションの変化に対応できるように ARCS 動機づけモデルを参照して作成している。したがって、ARCS 動機づけモデルの“動機づけ方略”に基づいた教材改善が可能であると考えられる。

表 2 ARCS モデルの 4 因子と下位カテゴリー

因子	注意(Attention)	関連性(Relevance)	自信(Confidence)	満足感(Satisfaction)
下位カテゴリー	A1：知覚的喚起	R1：親しみ易さ	C1：学習要求	S1：自然の結果
	A2：探究心の喚起	R2：目的指向性	C2：成功の機会	S2：肯定的な結果
	A3：変化性	R3：動機との一致	C3：コントロールの個人化	S3：公平さ

P1: 時系列なモチベーションの測定

改善前グループにおいて、2 授業時間／週の終了時毎に、ARCS アンケートによってモチベーションを測定する。

P2: 有意な遷移の導出

改善前グループのプログラミング教育終了後、 $(n-1)$ 回目の授業と n 回目の授業において、有意水準 5% で遷移が生じる下位カテゴリーを t 検定²⁰⁾、²¹⁾によって特定する。 n 回目の授業で有意な遷移が生じた下位カテゴリーを下位カテゴリー k_n と表す。ただし、 k : A1 などの一意の下位カテゴリー、 n : プログラミング教育の n 回目の授業、である。例えば、下位カテゴリー R1 において、2 回目の授業で有意な遷移が生じれば下位カテゴリー $R1_2$ と表す。

P3: 遷移の分類

P2 で導出した $(n-1)$ 回目の授業と n 回目の授業の教育プロセスを、下位カテゴリーの減少／増加フェーズに分類する。下位カテゴリーの減少フェーズは、上述の教育プロセスにおいて、後者の下位カテゴリー k_n が前者と比較して低い。また、増加フェーズでは、後者の下位カテゴリー k_n が高くなっている。本稿では、モチベーションの減少フェーズにおける n 回目の授業で、有意な遷移が生じた教育項目を教材改善の対象にする。

P4: 改善要素の設定

ARCS 動機づけモデルの“動機づけ方略”における方略見本から、プログラミング教育の知見を参照して、下位カテゴリー k_n に適応する方略見本を選択する。そして、方略見本を適用して教材改善するための改善要素を設定する²²⁾。

5. 改善前グループにおける有意な遷移の導出

本章では、教材改善プロセス P2 および P3 にしたがって、改善前グループにおける下位カテゴリーに有意な遷移が生じる n 回目の授業を導出し、その遷移を減少／増加フェーズに分類する。

改善前グループにおける全体傾向を把握するため、4 因子の平均値の遷移を図 1 に示す。ここでは、2 回目、7 回目、8 回目の授業における因子の遷移が著しい。2 回目の授業の関連性(Relevance) 因子、8 回目の授業における注意(Attention)、関連性(Relevance)、満足感(Satisfaction) 因子が、他の因子と比較して減少が著しい。一方、7 回目の授業の満足感(Satisfaction) 因子が、他の因子と比較して増加が著しい。

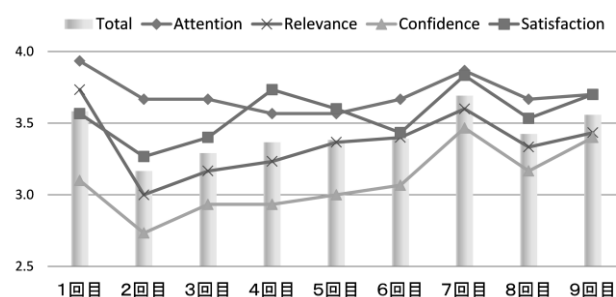


図 1 改善前グループにおける 4 因子の遷移

プログラミング教育全般における下位カテゴリーの有意な遷移を t 検定によって判定した。表 3 に、改善前グループにおける下位カテゴリーの平均値を示す。表 3 の星印は、 $|t_{n-(n-1)}| > t_{18}(.05)$ で有意水準 5% の遷移が生じた項目を表している。実線・角丸四角形の項目は下位カテゴリーの減少フェーズ、二重線・角丸四角形の項目が下位カテゴリーの増加フェーズを表す。1 回目の

表 3 改善前グループにおけるモチベーションの有意な遷移

授業	注意(Attention)			関連性(Relevance)			自信(Confidence)			満足感(Satisfaction)		
	A1	A2	A3	R1	R2	R3	C1	C2	C3	S1	S2	S3
1回目	4.10	3.60	4.10	4.10	3.80	3.30	3.20	3.00	3.10	2.70	4.30	3.70
2回目	3.90	3.40	3.70	*2.60	3.50	*2.90	3.00	2.50	2.70	2.80	3.70	3.30
3回目	3.90	3.50	3.60	3.10	3.40	3.00	3.00	2.70	3.10	3.20	3.70	3.30
4回目	3.60	3.50	3.60	3.00	3.50	3.20	3.20	2.70	2.90	3.60	4.10	3.50
5回目	3.70	3.70	3.30	3.40	3.50	3.20	3.20	2.90	2.90	3.40	3.90	3.50
6回目	3.70	3.70	3.60	3.30	3.50	3.40	3.10	3.10	3.00	3.30	3.60	3.40
7回目	4.00	3.80	3.80	3.70	3.50	3.60	3.50	3.50	3.40	3.70	*4.10	3.70
8回目	*3.60	3.70	3.70	*3.10	3.50	3.40	3.40	3.00	3.10	3.40	*3.60	3.60

$t_{18}(0.05)=1.734$, $*p < .05$

授業から2回目の授業（以下、減少フェーズ①と呼ぶ）および、7回目の授業から8回目の授業（以下、減少フェーズ②と呼ぶ）における下位カテゴリーA1, R1, R3, S2の減少に有意な遷移が生じている。一方、6回目の授業から7回目の授業（以下、増加フェーズ①と呼ぶ）においては、下位カテゴリーS2が有意に増加している。図2に、4因子の下位カテゴリーにおける有意な遷移を矢印で示す。下向き矢印が有意な減少、上向き矢印が有意な増加を表している。

減少フェーズ①は、下位カテゴリーR1, R3が減少している。ここでのR1, R3を、下位カテゴリーR1₂, R3₂と表す。減少フェーズ②においては、下位カテゴリーA1, R1, S2が減少している。ここでのA1, R1, S2を、下位カテゴリーA1₈, R1₈, S2₈と表す。

一方、増加フェーズ①の改善前グループにおける7回目の授業で、下位カテゴリーS2が増加している。ここでは、2授業時間/週の1授業時間を課題作成だけに設定している。学習者自身が、この時間に今まで学習したプログラミングの知識・技術の確認・応用ができたことで、下位カテゴリーS2₇が増加したと考えられる。

6. プログラミング教材の改善

本章では教材改善プロセスP4にしたがって、減少フェーズ①の下位カテゴリーR1₂, R3₂および、減少フェーズ②の下位カテゴリーA1₈, R1₈, S2₈に対処した教

材改善を行う。下位カテゴリーA1, R1, R3, S2に対応した“動機づけ方略”を、方略A1, 方略R1, 方略R3, 方略S2と呼ぶ。

6.1 減少フェーズ①の教材改善

減少フェーズ①における下位カテゴリーR1₂, R3₂に適応した改善要素を導出する。減少フェーズ①の2回目の授業における教育項目は“繰返し：for”である。ここでは、単一コマンドによる単一図形の描画処理から、複数コマンドを用いた複数図形の描画処理を扱うため、“繰返し”アルゴリズムとプログラムコマンド“for”を用いた繰返し処理プログラムを学習している。そこで、学習者はアルゴリズムといった新しい概念の理解が必要になったため、今までの知識や経験と関連付けて理解しづらかったことが、下位カテゴリーR1₂を減少させたと考えられる。そしてプログラミング教育における、学習内容への親しみやすさ、学習者自身の学習方法の選択、といった対処に不慣れであったことが、下位カテゴリーR3₂を減少させたと考えられる。

方略R1では、具体的な用語、学習者の経験・価値観に関連する例や概念の適用、が挙げられる。その方略見本は、R1-1：人称代名詞や適所でのキャラクタ、R1-2：具体性のある図解、R1-3：既知の例と文脈、がある。

方略R3は、学習者の動因プロフィールに適合した教授方略の適用が挙げられ、その方略見本としてR3-1：目的レベルに応じた難易度の選択、R3-2：得点記録シ

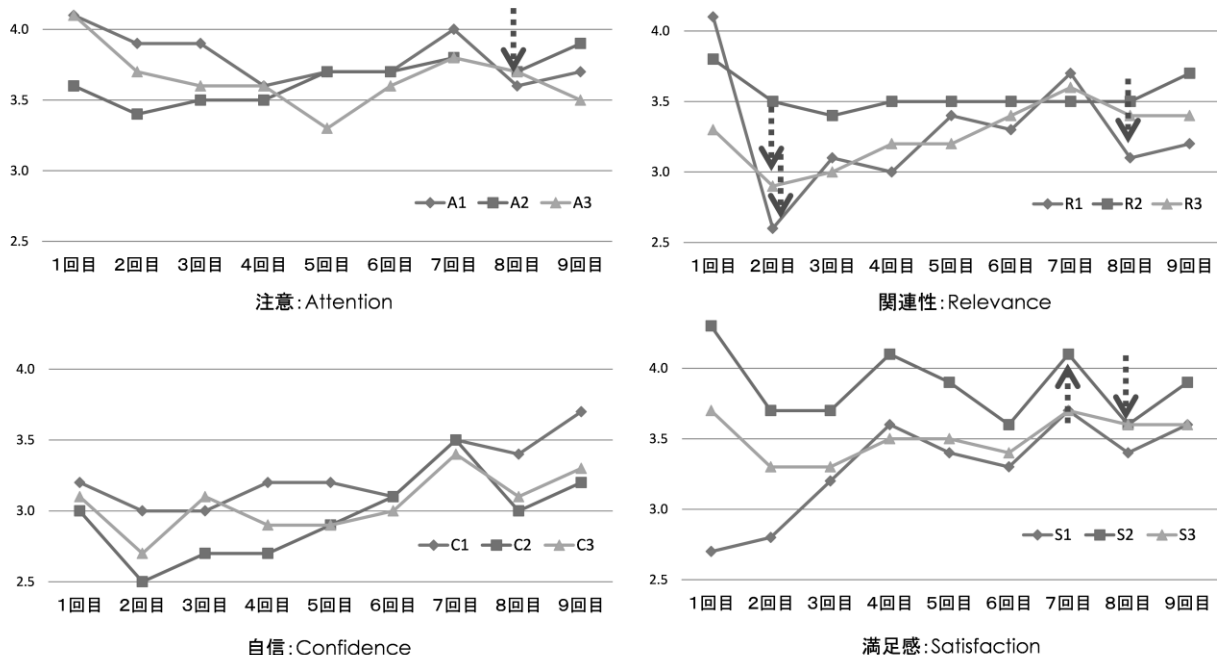


図2 4因子の下位カテゴリーにおける有意な遷移

システム, R3-3: 非競争的なオプション, R3-4: 複数参加者の機会, がある。

下位カテゴリー $R1_2$ の減少が, 教育項目の理解に学習者自身の知識や経験を関連付けられなかったことから, 教育項目に適応した既知の例などが必要と考えられる。そこで, 方略 R1 の方略見本から R1-3: 既知の例と文脈を選択する。下位カテゴリー $R3_2$ の減少が, 学習内容への親しみや学習方法の選択への対処に不慣れなことから, 学習者の理解レベルに応じた教材が必要と考えられる。そこで, 方略 R3 の方略見本から R3-1: 目的レベルに応じた難易度を選択する。これら方略見本に基づいて, プログラミング教育の知見を参照し, 教材改善するために設定した改善要素を, 改善要素 R1-3 および, 改善要素 R3-1 と呼ぶ。

改善要素 R1-3 では, プログラムコマンド “for “の概念を分かりやすく説明した図解を挿入した。改善要素 R3-1 では, “for “に関するプログラミングの練習問題を 2 問から 6 問に増やし, 学習者が理解状態に応じて練習問題を選択できるように改善した。

6.2 減少フェーズ②の教材改善

減少フェーズ②の 8 回目の授業における教育項目は, 動き (アニメーション) と配列である。学習者は, これらの教育項目に関するプログラムを学習している。日常生活で高度なゲームに親しんでいる学習者にとっては, 単純なアニメーションや配列を用いたプログラムから, 知覚的な喚起やプログラミング学習への親しみを体感しづらかったために, 下位カテゴリー $A1_8$, $R1_8$ が減少したと考えられる。また学習者は, 例題で本教育項目のプログラミングを学習し, 練習問題のプログラムを完成させているにも関わらず, プログラムが複雑なためにプログラミングが難しいと感じている。そのため, 完成させたプログラムの出力結果が学習者自身の習得したプログラミング能力に依存していると認識できなかったことが, 下位カテゴリー $S2_8$ を減少させる一要因になったと考えられる。

方略 A1 は, 学習者の注意を引付け, それを持続する新規な驚き, 不調和や不確定な事象の適用が上げられている。その方略見本として A1-1: 聴覚的效果, A1-2: 見慣れない内容や事象, A1-3: 邪魔の削除, がある。方略 S2 では, 望まれる行動を維持するためのフィードバックや強化が上げられ, その方略見本として S2-1: 適切な強化スケジュール, S2-2: 有意味な強化, S2-3: 正答への報酬, S2-4: 控えめな報酬, S2-5: 報酬一式のオプション, がある。

下位カテゴリー $A1_8$, $R1_8$ の減少が, 単純なアニメー

ションや配列を用いたプログラムによることから, 教育項目の具体的な表現を視覚的に把握できる教材が必要と考えられる。そこで, 方略 A1 の方略見本から A1-1: 聴覚的效果, 方略 R1 の方略見本から R1-2: 具体性のある図解を選択する。下位カテゴリー $S2_8$ の減少が, 習得したプログラミング能力を認識できないことから, 学習者自身に学習成果を認識させる教材が必要と考えられる。そこで, 方略 S2 の方略見本から S2-2: 有意味な強化を選択する。これら方略見本を適用した改善要素を, 改善要素 A1-1, 改善要素 R1-2, 改善要素 S2-2 と呼ぶ。

減少フェーズ②における“動き”と“配列”の教育項目に上述の改善要素を適用させて次のように改善した。改善要素 R1-2 では, 配列の概念を図 3 のような引出し付きの箱で説明した。改善要素 A1-1 は, 図 3 中に吹出しを挿入し, 配列の概念を補足して説明した。改善要素 S2-2 では, 提出課題を全員で閲覧した後で, 表 4 のような学習者に称賛を与える肯定的なコメント例を補助教材として作成した。

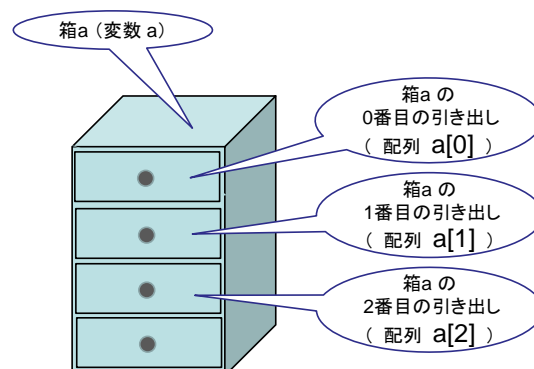


図3 配列の概念と役割の説明

表4 方略 S2-2 に適応した肯定的なコメント例

絵柄として	: 楽しそう/美しい/ファンタスティック
アニメーションとして	: 楽しそう/美しい/ファンタスティック
ソースコードとして	: 拡張性/プログラミング書法に適合/明瞭
作品の応用分野として	: CMMIに使える/ゲームに利用できそう

7. 教材改善の効果と考察

教材改善プロセス $P4$ で改善したプログラミング教材を, 改善後グループのプログラミング教育において使用し, 時系列なモチベーションを 2 授業時間/週の終了時毎に ARCS アンケートによって測定した。本章では, 教材改善の全体傾向を把握するため, プログラミング教育全般における改善前/改善後グループの下位カテゴリー

表 5 改善前／改善後グループにおける下位カテゴリーの平均値

	注意(Attention)			関連性(Relevance)			自信(Confidence)			満足感(Satisfaction)		
	A1	A2	A3	R1	R2	R3	C1	C2	C3	S1	S2	S3
改善前グループ	3.80	3.64	3.66	3.28	3.54	3.27	3.26	2.96	3.06	3.30	3.88	3.51
改善後グループ	* 4.10	* 3.92	3.82	3.80	* 3.82	* 3.67	3.50	* 3.55	* 3.57	* 3.59	* 4.29	* 3.84

$t_{\infty}(0.05)=1.645$, $*p < 0.05$

リーを比較した。それぞれの下位カテゴリーの平均値および、 t 検定の判定を表 5 に示す。表 5 中の星印は、有意水準 5% で差が生じた $|t_{B-A}| > t_{\infty}(0.05)$ の項目を示している。表 5 において、改善後グループにおける全ての下位カテゴリーの平均値が改善前グループと比較して高く、下位カテゴリー A3, C1 以外の下位カテゴリーにおいて有意な差が生じている。これよりプログラミング教育全般における下位カテゴリー A1, A2, R1, R2, R3, C2, C3, S1, S2, S3 では、教材改善の効果があつたと考えられる。一方、下位カテゴリー A3, C1 では有意な差が生じないが、改善後グループの下位カテゴリーの平均値が改善前グループと比較して高いことから、教材改善前のモチベーションが維持されていると考えられる。この傾向の一要因として、2 回目の授業の教材改善によってモチベーションが向上したことで、その後の授業においても教育項目への理解が促進され、モチベーションを向上させたと考えられる。

次に、教材改善プロセス P2 で導出した n 回目の授業における改善前／改善後グループの下位カテゴリーの有意な差を、 t 検定によって判定する。具体的には、減少フェーズの下位カテゴリー k_n において、改善後グループの下位カテゴリーの平均値が改善前グループと比較して高く、改善前／改善後グループで有意な差が生じていれば効果があつたと判定する。また、有意な差が生じない下位カテゴリー k_n においても、改善後グループの下位カテゴリーの平均値が改善前グループと比較し

て高ければ、モチベーションが維持された状態で、教材改善のマイナス効果が生じていないと考えられる。

改善前／改善後グループの授業毎の下位カテゴリーの平均値および、 t 検定の判定を表 6 に示す。ここでの“授業”の項目における n 回目は改善後グループを示している。表 6 において、実線・角丸四角形と二重線・角丸四角形は、 $(n-1)$ 回目の授業と n 回目の授業の下位カテゴリーで有意な遷移が生じた項目を表している。前者は下位カテゴリーの減少フェーズ、後者が増加フェーズを表している。星印は、改善前／改善後グループの下位カテゴリーの比較において、有意な差が生じた項目を表している。点線・角丸四角形は、改善後グループの下位カテゴリーの平均値が改善前グループと比較して低い項目を表している。

改善前グループの減少フェーズ①における下位カテゴリー $R1_2$, $R3_2$ および、減少フェーズ②の下位カテゴリー $A1_7$, $R1_7$, $S2_7$ への教材改善の効果を評価する。

下位カテゴリー $R1_2$ は、改善前グループの 2 回目の授業で有意な遷移が生じ、下位カテゴリー $R1$ が減少している。改善前／改善後グループの下位カテゴリーの比較においては、 t 検定によって有意な差が認められ、改善後グループの下位カテゴリー $R1$ の平均値が高い。したがって、方略 $R1-3$ を適用した教材改善が、下位カテゴリー $R1_2$ の向上に効果があつたと考えられる。

下位カテゴリー $R3_2$ は、改善前グループにおける 2 回目の授業で有意な遷移が生じ、下位カテゴリー $R3$ が

表 6 改善前グループから改善後グループへの下位カテゴリーの有意な遷移

授業	グループ	注意(Attention)			関連性(Relevance)			自信(Confidence)			満足感(Satisfaction)		
		A1	A2	A3	R1	R2	R3	C1	C2	C3	S1	S2	S3
1回目	改善前	4.10	3.60	4.10	4.10	3.80	3.30	3.20	3.00	3.10	2.70	4.30	3.70
	改善後	4.43	4.26	4.57	4.29	4.14	* 4.00	3.14	3.57	3.43	3.29	4.86	4.00
2回目	改善前	3.90	3.40	3.70	2.60	3.50	2.90	3.00	2.50	2.70	2.80	3.70	3.30
	改善後	4.29	3.86	3.86	* 3.71	4.00	3.29	3.14	3.29	* 3.43	3.00	4.57	3.86
3回目	改善前	3.90	3.50	3.60	3.10	3.40	3.00	3.00	2.70	3.10	3.20	3.70	3.30
	改善後	3.86	3.86	3.71	3.86	* 4.14	* 4.00	* 3.86	3.29	3.57	* 4.14	4.26	3.71
4回目	改善前	3.60	3.50	3.60	3.00	3.50	3.20	3.20	2.70	2.90	3.60	4.10	3.50
	改善後	* 4.57	* 4.71	* 4.29	* 4.14	4.00	* 4.14	3.86	* 3.86	* 4.14	4.00	4.71	* 4.29
5回目	改善前	3.70	3.70	3.30	3.40	3.50	3.20	3.20	2.90	2.90	3.40	3.90	3.50
	改善後	3.57	3.33	3.00	3.26	3.43	3.29	3.14	3.57	3.29	3.43	3.14	3.43
6回目	改善前	4.00	3.80	3.80	3.70	3.50	3.60	3.50	3.50	3.40	3.70	4.10	3.70
	改善後	3.86	3.43	3.57	3.57	3.57	3.43	3.29	3.43	3.29	3.43	3.86	3.43
7回目	改善前	3.60	3.70	3.70	3.10	3.50	3.40	3.40	3.00	3.10	3.40	3.60	3.60
	改善後	4.14	3.86	3.71	* 3.86	3.43	3.71	3.86	* 3.86	3.86	3.86	* 4.57	* 4.14

$t_{15}(0.05)=1.753$, $*p < 0.05$

減少している。改善前／改善後グループの下位カテゴリーの比較において有意な差が見られないが、改善後グループの下位カテゴリーの平均値が高い。これより教材改善が、下位カテゴリー $R3_2$ の向上に貢献できたとは言えないが、改善前のモチベーションは維持できていると考えられる。

次に下位カテゴリー $A1_7$ は、上述の下位カテゴリー $R3_2$ と同様の傾向で、教材改善前のモチベーションが維持できていると考えられる。下位カテゴリー $R1_7$ は、改善前グループの 8 回目の授業において有意な遷移が生じ、下位カテゴリー $R1$ が減少している。改善前／改善後グループの下位カテゴリーの比較においては、有意な差が認められ、改善後グループの下位カテゴリーの平均値が改善前グループと比較して高い。したがって方略 $R1-2$ を用いた教材改善が、下位カテゴリー $R1_7$ の向上に効果があると考えられる。

下位カテゴリー $S2_7$ も上述と同様の傾向である。したがって方略 $S2-2$ を適用した補助教材が、下位カテゴリー $S2_7$ の向上に効果があると考えられる。

8. まとめ

本研究では、プログラミング教育におけるモチベーションの時系列変化の統計的分析と、ARCS 動機づけモデルの“動機づけ方略”の参照によるプログラミング教材の改善手法を提案し、その効果を評価した。実際のプログラミング教育におけるモチベーションを、ARCS アンケートによって時系列に測定し、その遷移を統計的に分析し、改善要素を設定してプログラミング教材の改善を行った。そして改善した教材を用いたプログラミング教育を試行し、教材改善の効果を検討した。

プログラミング教材の改善では、減少フェーズ①において 2 つの改善要素、減少フェーズ②で 3 つ改善要素を設定した。そして、減少フェーズ①の対処としてプログラムコマンドの概念に関する図解を挿入し、練習問題を 2 問から 6 問に増やして学習者が理解状態に応じて練習問題を選択できるようにした。減少フェーズ②の対処では、配列の概念を引出し付きの箱の図解で説明し、図中に吹出しを挿入して配列の概念を補足して説明した。さらに提出課題の閲覧時に、学習者に称賛を与える肯定的なコメント例を補助教材として作成した。

改善したプログラミング教材を、改善後グループのプログラミング教育で使用し、時系列なモチベーションを ARCS アンケートによって測定した。教材改善の効果は、減少フェーズの下位カテゴリーにおいて、改善後グループの下位カテゴリーの平均値が改善前グループよ

り高く、グループ間に有意な差が生じていれば改善の効果があると判定した。その結果、減少フェーズ①において 1 つ、減少フェーズ②で 2 つの教材改善の効果が認められた。一方、他の 2 つの下位カテゴリーでは、教材改善前のモチベーションは維持できたが、下位カテゴリーに有意な増加が見られない。本事象に関しては、効果的なプログラミング教材の改善を実現させるため、詳細な解明を今後の研究で計画している。

また、教育プロセスの早い時期の効果的な教材改善が、その後のプログラミング教育に効果的な影響を及ぼすことも認められた。本手法によるプログラミング教材の改善は、ARCS 動機づけモデルの“動機づけ方略”を参照することから、教授者の経験や知見の差異による影響が小さく、多様なプログラミング教育環境での利用が期待できる。また、本手法は同じプログラミング教材に繰り返して適用できることから、プログラミング教材の改善効果が高く、効果的なプログラミング教育を実現させるプログラミング教材の作成が期待できる。

参考文献

- 1) 文部科学省：中学校学習指導要領技術・家庭，
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/you/you/chu/gika.htm
- 2) 菊地章・鎮革：プログラムによる計測・制御学習のための GUI プログラミング環境の構築，日本産業技術教育学会誌，Vol. 54, No. 2, pp.59-67 (2012)
- 3) 伊藤陽介・森誉範・菊地章・他 1 名：「プログラムと計測・制御」のためのロボット学習教材の開発と実践，日本産業技術教育学会誌，Vol.49, No.3, pp.213-221 (2007)
- 4) 大塚裕子・田北晋一・宮崎英一・他 1 名：JAVA 言語による木製品設計支援システムの開発，日本産業技術教育学会誌，Vol. 52, No. 1, pp.45-53 (2009)
- 5) 川田浩誉・伊藤陽介：中学校における二足歩行を題材としたロボット制御学習の構築と評価，日本産業技術教育学会誌，第 54 巻，第 2 号，pp.69-77 (2012)
- 6) 樋口大輔・紅林秀治：コンピュータによる計測・制御学習のための汎用計測・制御基板の開発，日本産業技術教育学会誌，第 53 巻，第 3 号，pp.169-178 (2011)
- 7) 針谷安男・飯塚真弘・山菅和良：プログラムによる計測・制御学習の授業実践とその学習効果の検証，日本産業技術教育学会誌，第 52 巻，第 3 号，pp.205-214 (2010)

- 8) 紅林秀治, 江口啓, 兼宗進: 制御プログラム学習における中学生の学習効果, 日本産業技術教育学会誌, 第 51 巻, 第 4 号, pp.301-309 (2009)
- 9) Fred Martin: Is There a MOOC in Your Future?, Proc. of FIE 2012, p. xv (2012)
- 10) Keller, J. M: Development and use of the ARCS model of instructional design, Journal of instructional development, Vol. 10, No. 3, pp. 2-10 (1987)
- 11) Keller, J. M. and Suzuki, K: Use of the ARCS Motivation Model in Courseware Design, In Jonnasen, D. H. (Ed.), Instructional Designs for Microcomputer Courseware, Lawrence Erlbaum Associates., pp. 401-434 (1987)
- 12) 土肥紳一・宮川治・今野紀子: SIEM アセスメント尺度に基づいた要因分析結果のフィードバックによるコンピュータ入門教育への効果, FIT2005, pp. 309-312 (2005)
- 13) 王文涌・池田満・李峰榮: プログラミング教育における動機づけ教授方法の提案と評価, 日本教育工学会論文誌, Vol. 31, No. 3, pp.349-357 (2007)
- 14) 塚本英邦・南雲秀雄・武村泰宏: 芸術系技能を必要とする IT 作業を考慮したプログラミング教育のモチベーションの解析, 日本産業技術教育学会誌, Vol. 52, No. 3, pp. 177-185 (2011)
- 15) Tsukamoto, H., Nagumo, H., Takemura, Y. et al.: Comparative Analysis of 2D Games and Artwork as the Motivation to Learn Programming, Proc. of The 39th Annual Frontiers in Education Conference, pp. T1A1-T1A6 (2009)
- 16) 塚本英邦: 情報通信産業の新人研修におけるモチベーションの解析による効果的なプログラミング教育の考察, 日本産業技術教育学会誌, Vol. 53, No. 4, pp. 273-280 (2012)
- 17) Reas, C. and Fry, B.: Processing: A Programming Handbook for Visual Designers and Artists, MIT Press (2007)
- 18) 浦上昌則・脇田貴文: 心理学・社会科学研究のための調査系論文の読み方, 東京図書, pp.49-53 (2008)
- 19) 小塩真司: 実践形式で学ぶ SPSS と Amos による心理・調査データ解析, 東京図書, pp.146-149 (2007)
- 20) 芝祐順・渡部洋・石塚智一編著: 統計用語辞典, 新曜社, pp.177-178 (1999)
- 21) 奥野忠一 (応用統計ハンドブック編集委員会編): 応用統計ハンドブック, 養賢堂, pp.41-59 (1999)
- 22) 塚本英邦・南雲秀雄・武村泰宏・他 2 名: ARCS 動機づけ方略を用いた教材改善の効果, 日本産業技術教育学会第 28 回情報分科会, pp.43-44 (2013)

Abstract

In this research, a statistical remediation method for teaching materials in programming education has been proposed, and its effects have been evaluated. In this method, the teaching materials are systematically improved upon through quantitative measurements and analyses of the motivation of students so that a distinct improvement can be measured irrespective of the knowledge and experience of the teachers. Specifically, the motivation score of the students for each of the 12 subcategories of the ARCS motivation model was measured in each lesson, and the subcategory of a particular lesson in which the score decreased significantly from a previous one was identified. The remediation strategies corresponding to these subcategories were then looked up on lists of “motivation strategies” in the ARCS model, and are used to improve upon the teaching materials. By applying this method to a programming course, five weak points in the teaching materials were identified and they were subsequently improved upon by using remediation strategies. The effects of the remediation strategies have been confirmed in three of these weak areas of the subsequent programming course.

Keywords: Programming education, Remediation of teaching materials, Motivation, ARCS questionnaire, Motivation strategies,